

## 볼 시트 품질안정화에 관한 연구 - II

강 태 호\*(부경대 냉동공학과), 김 영 수(부경대학교 기계자동차공학부)  
정 영 득(부경대학교 기계자동차공학부), 김 인 관(부경대 냉동공학과)

### A Study for Quality Stabilization of Ball-Seat -II

T. H. Kang(Ref. Eng. Dept., PKNU), Y. S. Kim(Mech. & Auto. Eng Dept., PKNU),  
Y. D. Jung(Mech. & Auto. Eng. Dept., PKNU), I. K. Kim(Ref. Eng. Dept., PKNU)

#### ABSTRACT

Nowadays the amount of plastic products is increasing in modern industry. Plastic materials are continuously developed to satisfy the mechanical, physical, and chemical properties. The increasing application of plastic parts in automobile and aerospace industries is due to the fact that it can reduce the structural weight and can lessen the environmental contamination. Among many manufacturing technologies for plastic parts, the injection molding process is very attractive because of its low cost and short production time. Through various analyses of resin flow and molding process for the conventional gate and cooling mechanism, a new type of mold was designed which had different gate location and cooling systems. Newly designed ball seat has an excellent performances, i.e. diminished weld-line, residual stress density, higher magnitude less crack propagation and smaller dimensional contractions effect.

**Key Words** : injection molding(사출성형), tensile load(인장하중), melt temperature(수지온도), mold temperature(금형 온도), PA66(나이론 66), Ball-Seat(볼 시트)

#### 1. 서론

현대산업에서는 새로운 재료에 대한 연구와 함께 기존 재료의 개선을 통한 적용 범위의 확대 및 적용에 대한 신뢰성의 확보 등에 대해서도 연구 범위를 넓히고 있다. 이러한 견지에서 플라스틱은 고분자 재료로서 철등의 금속재료 중심의 산업구조에 변혁을 일으킨 범용적 재료이다 그리고 제품에 대한 적용 또한 그 비중이 점차 늘어나고 있는 추세이다 기존의 제품에 대해서는 필요한 강도를 가지기 위해서 대부분 금속이 사용되었다 하지만 최근에는 복합재료나 무기재료와 같은 신소재 개발로 인하여 재료에 대한 사용이 더욱더 광범위해졌다. 이러한 경향으로 플라스틱에 관한 여러 가지 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 플라스틱의 성질 중에 기계적 성질이나 치수안정성, 절연성, 난연성 등 여러 가지 성질로 인해 많은 분야에서 사용되고 있다.

이런 복합재료 성형기법에는 시트몰딩 콤파운드(SMC Sheet Molding Compound) 레진 트랜스퍼 몰딩(RTM : Resin Transfer Molding), 펄트루전(Pultrusion), 필라멘트 와인딩 성형(Filament Winding Molding), 오토클레이브(AutoClave), 사출성형(Injection Molding)등 여러 가지가 있다 그 중에서 사출성형은 제품의 생산적인 면과 비유적인 면에서 다른 여러 가지 방법보다 뛰어나다 가격이 낮은 재료와 짧은 생산시간으로 인해 많은 제품을 이러한 사출성형으로 하고 있는 것이다. 그러나, 사출성형의 공정은 많은 영향인자들로 인해 생산적인 면에서 많은 문제가 발생하고 있다. 특히 수지의 흐름이 비등온, 비정상적 및 용융수지 특유의 점탄성적 때문에 대단히 복잡하다 이러한 복잡한 문제로 인해 많은 연구들이 발표되어 왔다. 1970년대 초반부터 1차원 흐름에 관한 논문들이 발표되었고 이후 2차원 이상의 흐름에 대한 해석법도 점차 개발되어 왔다. 그 중 하

나는 Austin에 의해 개발된 몰드 플로우(Moldflow)로써 유동, 냉각, 변형 및 응력해석을 수행하는 다양한 모듈(module)로 구성되어 있어 제품의 품질과 생산성 향상에 기여하고 있다. 또한 대표적인 연구중의 하나는 코넬대학의 사출성형해석 프로그램이 있으며, 1974년부터 Wang<sup>1)</sup>등은 유한요소법(Finite Element Method)에 의한 두께방향의 해석을 개발하여 왔다. Tadmor등은 수지의 흐름이 등온이라고 가정하여 등가뉴턴 점도(equivalent newtonian viscosity)를 사용한 FAN(Flow Analysis Network)해석방법을 개발하였으며, Kamal<sup>2)</sup>과 Kenig는 보압과정을 압축성 유체의 비등온 유동으로 가정하고, Power-law 모델과 Spencer-Gilmore 상태 방정식을 사용하여 캐비티 내의 압력 분포로부터 유량을 구하고 수지의 평균밀도를 구하였다. 또한 Fried<sup>3)</sup>등은 해석을 통하여 사출성형 동안의 결정화를 예측하고 결정화가 성형품의 기계적 성질에 영향을 있음을 고찰하였고, Sherbelise등은 충전과 보압단계에서 점성의 전단율과 온도 의존성에 관하여 연구하였다. Chiang은 준3차원에 대한 보압과정의 해석을 가능하게 하였고, 보압과정 중에는 점성모멘트와 수지의 압축성이 냉각과정에서는 온도와 냉각률에 따른 물성치 변화의 중요성을 언급하였다. 그러나 위의 연구들은 수치 해석적인 방법이며, Moy<sup>4)</sup>등은 금형온도와 용융수지온도가 성형품의 조직에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였으며, Wang등은 사출속도, 용융수지온도 및 보압의 크기에 따른 성형품의 중량과 수축에 대하여 연구되었으며, Cox<sup>5)</sup>등은 단지 충전시간에 따른 성형품의 외관, 인장성질, 수축 및 중량의 거동을 실험적으로 고찰하였다. 그리고 Sun과 Clen은 한 방향으로 강화된 섬유를 가지는 복합재료의 경우 섬유방향으로의 응력-변형을 관계는 근본적으로 선형, 탄성이라는 사실과 함께 이론을 발전시켰다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로 현대에 와서는 사출성형해석 프로그램을 이용한 금형설계 방법으로 기존의 시행착오에 의한 방법들을 개선시켜오고 있다. 이는 제품 개발단계에서 발생할 수 있는 모든 불합리한 요소들을 사전에 검토하여 해결방안을 제시하여 최단시간에 최적 금형설계를 가능하게 하며, 또한 차후의 제품개발에 있어 정량적인 표준을 확보할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 엔지니어링 플라스틱인 PA66 (Nylon 66)를 사용하여 현재 생산중인 자동차 부품(Ball-seat)에 제기되고있는 제품불량에 대해서 금형구조를 개선하여 선행된 사출성형해석의 결과에 그 신뢰성을 바탕으로 하고 기계적 성질을 실험적으로 측정하여 품질안정화에 대한 신뢰성을 확보하려고 한다.

## 2. 실험

### 2.1 성형 제품

본 연구에서 살펴볼 제품의 형상은 자동차의 조향장치의 한 부분으로 볼 스티드(ball-stud)를 감싸고 있는 볼 시트(ball-seat)라는 것이다. 이 제품은 볼의 움직임을 제어하고 충격에 대한 완충역할을 한다. 이 제품에 대한 조립된 형상은 Photo 1에 나타내었으며 Photo 2에서는 볼시트만의 형상을 나타내었다. 좌측은 기존제품이고 우측의 제품은 개선된 금형을 통하여 사출된 것이다.



Photo 1 Assembly of ball-joint

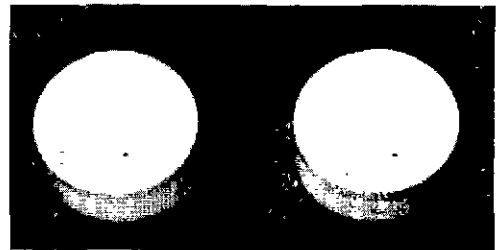


Photo. 2 Ball-seat injection mold parts

### 2.2 성형 실험

기존의 금형은 Fig. 1과 같은 형상을 하고 있었다. 이는 게이트부에서 원형의 체포형상을 따라 충전되던다. 이러한 충전경로는 게이트 반대부에 웰드 라인을 발생시키는 원인이 되며 실제 조립공정에서 볼시트가 깨어지는 불량을 발생시켰다. 그러므로 이러한 문제의 해결방법으로 게이트 위치를 변화시키는 것을 고려해 볼 수 있다. 이러한 방법으로 Fig. 2에서의 b와 같은 경우가 가장 효율적인 방법이라고 할 수 있으며, 이것은 이미 실행한 해석결과에 대해서도 같은 결론을 얻을 수 있었다. 그리고 이에 따라 제작한 금형은 Photo. 3과 Photo. 4에 나타내었다.

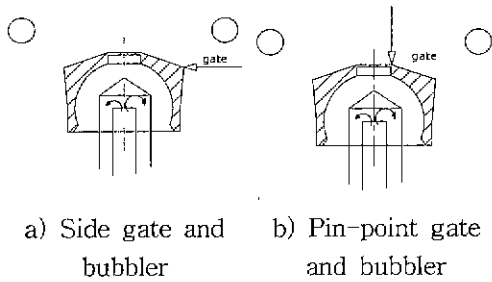


Fig. 1 gate and colling system

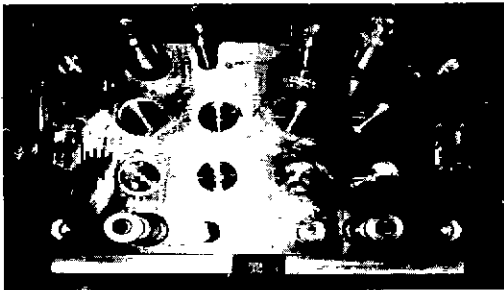


Photo. 3 Upper plate of injection mold

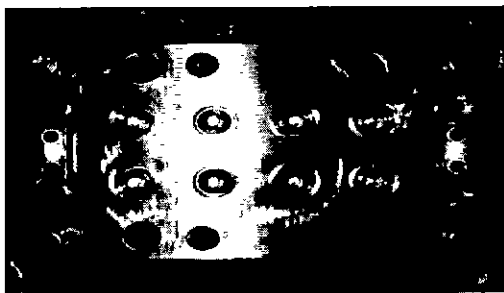


Photo. 4 Lower plate of injection mold

성형실험을 위해 Dupont Zytel 3189 HSL NC010 PA66수지를 사용 하였으며, 열풍 건조기로 80℃에서 4시간 예비 건조시켜 사용하였다 성형 조건은 실험실 실내 온도 15℃, 상대습도 40%에서 보압시간 3초를 포함한 총 사출시간은 8.5초, 냉각시간은 15초로 설정하고 사출압과 보압은 사출성형기 스크류 선단에 걸리는 최대 압력이 1550kgf/cm<sup>2</sup>라고 할 때 40%로 설정하였다 그리고 그현온도는 60℃, 수지온도는 290℃로 하였으며 보압은 사출압과 같은 40%에서 3초동안 지속시켰다. 그리고 두 수지의 물성은 Table 1에 나타내었다 좌측은 사이드 게이트와 직선 유로 냉각장치를 가진 기존의 불시트 사출성형품이

며, 우측은 핀포인트 게이트와 냉각장치가 Bubbler로 개선된 불시트 사출성형품이다. 그리고 이어진 몰스 터드의 삽입실험에서 깨짐현상이 전혀 발생하지 않았다.

Table 1 Properties of PA66 Resin

Term	Unit	Test Method (ASTM)	DUPONT ZYTEL 3189 HSL NC010	
Specific Gravity	-	D792	1.10	
Melting Point	℃	D798	255	
Tensile Strength	kgf/cm <sup>2</sup>	D638	684	
Shrinkage	%	D955	flow	2.1
			cross-flow	2.4
Flexural Strength	kgf/cm <sup>2</sup>	D790	750	
Flexural Modulus	kgf/cm <sup>2</sup>	D790	22,840	

### 2.3 인장 시험

취출된 시편으로 대표적인 기계적 성질인 인장시험을 하였으며, 이는 다른 특성의 시험을 위한 기본적인 특성을 확보하기 위한 것이며, 인장시험은 만능시험기를 사용하였으며 헤드 스피드(Head speed)는 4mm/min으로 설정하여 시험을 하였다. 성형된 두 가지 사출성형품을 가지고 후수축 및 PA수지의 흡수율을 고려하여 불시트 사출성형품 성형 후 10일 경과후에 각각 20개를 Photo 5과 같은 인장 치구를 제작하여 인장시험을 하였다.

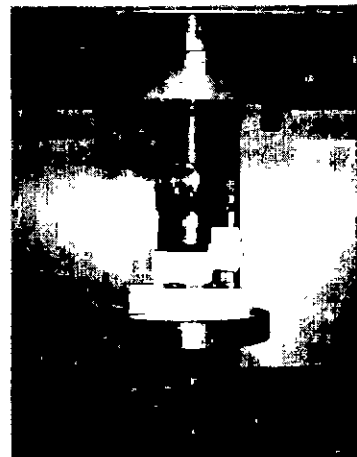


Photo. 5 Tensile test method

### 3. 결과

성형실험에서는 개선된 금형의 형상에 대해서는 취출시 발생하는 제품형상의 변형에 의한 불량률 감소하였다. 그리고 볼스터드를 삽입과정에서 볼시트가 깨어지는 불량률이 생기지 않았다. 이것은 개선전의 형상이 평균 24%의 불량률의 가진것에 비하여 제품으로서의 확실한 개선방안을 제시한 것이 되었다.

기존 설계방식에 의한 제품의 인장시험 후의 파괴된 형상으로 사이드 게이트 방향의 평균 최대하중이 약 238.82kgf, 사이드 게이트 직각방향의 평균 최대하중이 약 234.28kgf 정도였으며 이는 Fig. 2에 나타내었다. 이 두 위치에서의 최대 평균하중 편차는 4~5kgf임을 알 수 있었다. 이러한 결과로 볼시트 사출성형품에 두께 차가 발생되었음을 알 수 있었다. 이는 볼시트에 볼스터드(Ball-stud)를 결합시킬 경우 볼스터드의 볼부가 접촉이 감소하여 선접촉이 증가하고 응력집중이 일어나 불안정한 토오크가 발생하며 또한 내마모시에 마모되는 속도가 빨라져 유격발생이 심해지며 유격발생이 어느정도를 지나면 급속한 내마모가 발생하여 결국 부품으로서의 기능을 잃어버리는 문제가 발생할 수 있다. 개선된 설계방식에 의한 성형품의 인장시험 후의 형상은 평균 최대하중이 268.41kgf로 나타났으며, 다른 각도에서의 최대하중 측정오차가 1kgf 이내로서 매우 안정적인 결과를 얻을 수 있었으며 이것은 Fig 2에서 기존 제품에 대한 결과와 비교해서 보여주고 있다. 이는 볼시트의 제품두께가 안정화되고 또한, 기존의 성형품과 비교하였을 최대하중이 약 13.5% 향상되었다.

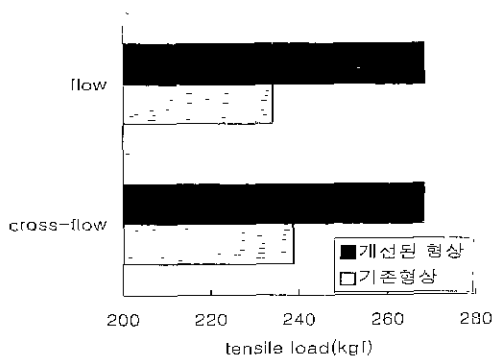


Fig. 2 comparison of tensile load

### 4. 결론

1 성형시험에서 게이트의 위치를 유동선단의 등

분포 시킬수 있는 위치로 변화를 시킨후 제품의 대칭구조에 부합되는 대칭냉각상태를 보임으로 해서 취출시에 발생할 수 있는 변형에 의한 불량률 감소하였다

2. 볼스터드의 삽입시험에서 깨짐현상이 전혀 발생하지 않았다. 이것은 유동의 불균형에 따른 웰드라인의 제거를 확인할 수 있는 결과이다.

3. 인장강도는 기존제품이 흐름방향과 흐름직각방향에 있어서 하중이 2.2%정도 차이를 보인데 비하여 개선된 형상에 대해서는 0.4%정도의 최대하중과 최소하중의 차이를 보였다

4. 최대인장하중에 대해서도 균일한 충전상태에 의한 13.5%의 증가를 가져왔다. 보완된 금형설계가 볼시트 성형품의 두께가 안정화되고 인장강도 또한 향상시킴을 증명하였다.

### 참고문헌

- 1) S. F. Walsh, "Shrinkage and Warpage Prediction for Injection Molded Components", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.12, pp.76-9~778, July 1993
- 2) Friedle, C. F and McCaffrey, N. I., "Crystallization Prediction in Injection Molding", SPE Technical Paper, Vol.5, pp.330-332, 1991
- 3) Isayev, A. I. and Hariharan, T., "Volumetric Effects in the Injection Molding of Polymers", Polymer Eng. & Sci., Mid-april, Vol.25, No.5, pp.171-178, 1985
- 4) Kouta, Y. T., "Packing and Discharge in Injection Molding", Polymer Eng. & Sci., December, Vol.14 No.12, pp.840-847, 1974
- 5) Cox, H. W. and Mentzer, C. C., "Injection Molding The effect of fill time on properties", Polymer Eng. & Sci., Vol.26, pp.488-498, 1986
- 6) Mamat, A., Trochu, F. and Sanschagun, B., "Shrinkage Analysis of Injection Molded Polypropylene Parts", SPE Technical Paper, Vol.4, pp.513-517, 1994
- 7) Rubin, I. I., Injection Molding Theory and Practice. John & Wiley Sons, New York, pp.270~281, 1972
- 8) Folgar F and Tucker, C. L., "Orientation behavior of fibers in concentrated suspensions", J. Reinf. Plast. Comp., Vol.3, pp.98~119, 1986
- 9) Gerd Potech, Walter Michaeli, Injection Molding an Introduction, Hanser Publishers, pp.44~50, 1995
- 10) Harold Belofsky, Plastic Product Design and Process Engineering, Hanser Publishers, pp.322~330.